

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

87 Priority  
Paper

Docket No.: MOH-P990638

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as First Class Mail in an envelope addressed to the Assistant Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231, on the date indicated below.

By: Markus Nollff Date: March 8, 2002

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Klaus Ludewigt et al.  
Applic. No. : 10/016,864  
Filed : December 14, 2001  
Title : Solid-State Laser  
Art Unit : 2881

CLAIM FOR PRIORITY

Hon. Commissioner of Patents and Trademarks,  
Washington, D.C. 20231

Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119, based upon the German Patent Application 199 27 054.6, filed June 14, 1999.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

Markus Nollff  
For Applicants

MARKUS NOLFF  
REG. NO. 37,006

Date: March 8, 2002

Lerner and Greenberg, P.A.  
Post Office Box 2480  
Hollywood, FL 33022-2480  
Tel: (954) 925-1100  
Fax: (954) 925-1101

/bmb



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 199 27 054.6

**Anmeldetag:** 14. Juni 1999

**Anmelder/Inhaber:** Roфин-Sinar Laser GmbH, Hamburg/DE

**Bezeichnung:** Festkörperlaser

**IPC:** H 01 S 3/07

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 19. Februar 2002  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Weihmayr', is written over the text 'Im Auftrag'.

Weihmayr

14. Juni 1999

## Ansprüche

1. Festkörperlaser mit einem aktiven Medium zum Erzeugen eines Laserstrahls (L), das aus einer Mehrzahl von in einem Resonator (8) angeordneter und miteinander optisch gekoppelter und einen gemeinsamen Strahlengang für den Laserstrahl (L) bildender Kristallscheiben (2;2a-h) besteht, und mit einer Pumplichtquelle (10;10,10b) zum Erzeugen eines Pumplichtstrahls (P;Pa,Pb), dessen optische Achse die Flachseiten (20,24) mehrerer optisch hintereinander angeordneter Kristallscheiben (2a-2h) schneidet.
2. Festkörperlaser nach Anspruch 1, bei dem jeweils einer der Flachseiten (20) der Kristallscheiben (2;2a-h) eine Spiegelfläche (22) zugeordnet ist, die den Pumplichtstrahl (P;Pa,Pb) und den Laserstrahl (L) in die Kristallscheibe (2;2a-2h) zurückreflektiert.
3. Festkörperlaser nach Anspruch 2, bei dem die Kristallscheiben (2;2c-2h) derart angeordnet sind, dass sich für den Laserstrahl (L) ein gefalteter Strahlengang ergibt.
4. Festkörperlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die in Ausbreitungsrichtung des Pumplichtstrahls (P;Pa,Pb) optisch hintereinander angeordneten Kristallscheiben (2;2a-2h) im wesentlichen dieselbe Pumplichtleistung absorbieren.
5. Festkörperlaser nach Anspruch 4, bei dem zur Egalisierung der absorbierten Pumplichtleistung die Dicke (d) der Kristallscheiben (2;2a-2h) voneinander verschieden ist.

- 1 6. Festkörperlaser nach Anspruch 4 oder 5, bei dem zur Egalisierung der absor-  
2 bierten Pumplichtleistung die chemische Zusammensetzung der Kristallschei-  
3 ben (2;2a-2h) voneinander verschieden ist.
- 4
- 5 7. Festkörperlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem inner-  
6 halb des Resonators (8) zumindest ein Abbildungselement (30,32;40;50;50a-  
7 d;64) zur Fokussierung des aus einer Kristallscheibe (2;2a-h) austretenden  
8 Pumplichtstrahls (P;Pa,Pb) auf die optisch nachgeschaltete Kristallscheibe  
9 angeordnet ist.
- 10
- 11 8. Festkörperlaser nach Anspruch 7, bei dem das Abbildungsele-  
12 ment (30,32,40,64) im wesentlichen nur den Strahlengang des Pumplicht-  
13 strahls (P;Pa,Pb) beeinflusst.
- 14
- 15 9. Festkörperlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die op-  
16 tische Achse des Pumplichtstrahls (P;Pa,Pb) und die optische Achse des La-  
17 serstrahls (L) annähernd kollinear zueinander sind.
- 18
- 19 10. Festkörperlaser nach Anspruch 9, bei dem als Abbildungselement eine Lin-  
20 se (30,32) mit einer zentralen Öffnung (34) vorgesehen ist.
- 21
- 22 11. Festkörperlaser nach Anspruch 9, bei dem als Abbildungselement eine Lin-  
23 se (40) vorgesehen ist, deren Oberfläche (44) nur in einem ringförmigen  
24 Randbereich (42) gekrümmt ist.
- 25
- 26 12. Festkörperlaser nach Anspruch 10 oder 11, bei dem ein Pumplichtstrahl (P)  
27 mit ringförmigem Querschnitt in den Resonator (8) eingekoppelt wird.
- 28
- 29 13. Festkörperlaser nach Anspruch 9, bei dem als Abbildungselement ein Spiege-  
30 lelement (50;50a-d) mit einer wellenlängenselektiv den Laserstrahl (L) reflek-  
31 tierenden und den Pumplichtstrahl (P) transmittierenden Planfläche (52) und  
32 einer optisch dahinter angeordneten reflektierenden Konkavfläche (54) vorge-  
33 sehen ist.

14. Festkörperlaser nach Anspruch 9, bei dem als Abbildungselement ein Spiegelement (50;50a-d) vorgesehen ist, das eine in einem zentralen Bereich mit einer Verspiegelung (56) versehene Planfläche (52) und eine optisch dahinter angeordnete reflektierende Konkavfläche (54) aufweist.
15. Festkörperlaser nach Anspruch 7, bei dem das Abbildungselement (62,63) sowohl den Strahlengang des Laserstrahls (L) als auch den Strahlengang des Pumplichtstrahls (P) beeinflusst.
16. Festkörperlaser nach Anspruch 15, bei dem zumindest einer der Resonatorspiegel (4,6) eine derart gekrümmte Reflexionsfläche aufweist, dass diese gemeinsam mit dem resonatorinternen Abbildungselement (62,63) einen stabilen Resonator bilden.
17. Festkörperlaser nach einem der Ansprüche 9 bis 16, bei dem zur Einkopplung des Pumplichtstrahls (P;Pa,Pb) in den Resonator (8) ein wellenlängenselektiver Resonatorspiegel (4,6) vorgesehen ist, der für den Laserstrahl reflektierend und für den Pumplichtstrahl transmittierend ist.
18. Festkörperlaser nach einem der Ansprüche 9 bis 16, bei dem zur Einkopplung des Pumplichtstrahls (P;Pa,Pb) in den Strahlengang des Laserstrahls (L) ein Strahlteiler (60) vorgesehen ist.
19. Festkörperlaser nach Anspruch 17 oder 18, bei dem der zur Auskopplung des Laserstrahls (L) ein wellenlängenselektiver Resonatorspiegel (6) vorgesehen ist, der zumindest einen Teil des Laserstrahls (L) transmittiert und den Pumplichtstrahl (P) reflektiert.
20. Festkörperlaser nach Anspruch 7 oder 8, bei dem die optische Achse des Pumplichtstrahls (P) zumindest teilweise geneigt zur optischen Achse des Laserstrahls (L) verläuft und das oder die Abbildungselemente (64) zum Abbil-

1 den des Pumplichtstrahls (P) außerhalb des vom Laserstrahl (L) erfassten  
2 Volumen des Resonators (8) angeordnet sind.

3  
4 21. Festkörperlaser nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei denen in den  
5 Resonator (8) zwei Pumplichtstrahlen (Pa,Pb) eingekoppelt werden, die sich  
6 im Resonator (8) in einander entgegengesetzte Richtungen ausbreiten.  
7

## Beschreibung

### Festkörperlaser

Die Erfindung bezieht sich auf einen Festkörperlaser, bei dem als laseraktives Medium eine Kristallscheibe verwendet wird.

Ein solcher Festkörperlaser ist beispielsweise aus der US-Patentschrift 5,553,088 A bekannt. Laseraktives Basiselement eines solchen Festkörperlasers, der in der Literatur auch als Scheibenlaser bezeichnet wird, ist eine dünne nur wenige Zehntelmillimeter dicke und typisch einen Durchmesser im Größenordnungsbereich von etwa 10 mm aufweisende Kristallscheibe, die auf einem Kühlelement angeordnet ist und auf ihrer dem Kühlelement zugewandten Oberfläche mit einer reflektierenden Schicht versehen ist.

Die von einem solchen Scheibenlaser erzeugte Laserausgangsleistung wird nun u. a. bestimmt durch die in der Kristallscheibe absorbierte Leistung des zum optischen Pumpen verwendeten Pumplichtstrahls. Zur Einkopplung des Pumplichtstrahls in die Kristallscheibe gibt es nun prinzipiell zwei Möglichkeiten. Der Pumplichtstrahl kann entweder an einer Flachseite der Kristallscheibe (longitudinal) oder an der Schmalseite (transversal) eingekoppelt werden.

Eine longitudinale Pumpanordnung hat nun den grundsätzlichen Nachteil, dass aufgrund der kleinen Wegstrecke des Pumplichtstrahls im Kristall ein erheblicher Teil des Pumplichtstrahls nicht innerhalb der Kristallscheibe absorbiert wird und somit keinen Beitrag zur Laseranregung leistet. Bei der Verwendung von Yb:YAG als laseraktives Medium mit einer Dotierung von etwa 12% und einer Scheibendicke von 200  $\mu\text{m}$  ergibt sich beispielsweise bei einer Wellenlänge des Pumplichtstrahls von 940 nm bei einem einfachen Durchlauf des Pumplichtstrahls durch die Scheibe eine Absorption von lediglich etwa 30%. Um die Ausnutzung der bereitgestellten Pumpleistung bei longitudinaler Pumpanordnung zu erhöhen,



1 ist in Fig. 28 der US 5,553,088 A oder in Fig. 2 der Publikation „Effiziente dioden-  
2 gepumpte Scheibenlaser mit nahezu beugungsbegrenzter Strahlung“, Laser und  
3 Optoelektronik, 29 (4), 1997, S. 76-83, eine Anordnung vorgeschlagen, bei der der  
4 Pumplichtstrahl mehrfach auf die Scheibe zurückreflektiert wird. Dies erfordert  
5 jedoch einen aufwendigen optischen Aufbau mit einer Vielzahl von fokussieren-  
6 den Spiegeln.

7  
8 Diese Probleme können durch eine transversale Pumpanordnung vermieden wer-  
9 den, da dann die Weglänge des Pumplichtstrahls in der Kristallscheibe erhöht ist  
10 (siehe beispielsweise Fig. 1 der US 5,553,088 A). Bei einer solchen Pumpanord-  
11 nung ist jede Kristallscheibe von einer Vielzahl von Laserdioden umgeben. Eine  
12 solche Anordnung eignet sich grundsätzlich auch zum Aufbau von Hochleistungs-  
13 lasern, bei dem es erforderlich ist mehrere Scheibenlaser optisch miteinander zu  
14 koppeln.

15  
16 Die Ausgangsleistung einer Kristallscheibe ist nämlich auch bei maximaler Ab-  
17 sorption der Pumplichtleistung auf zur Zeit etwa 500 Watt pro Scheibe begrenzt,  
18 da deren nutzbare Fläche und deren Dicke, letztere insbesondere aufgrund der  
19 erforderlichen Wärmeabfuhr und aufgrund der mit zunehmender Dicke einherge-  
20 henden Verringerung der Bruchfestigkeit, nicht erhöht werden kann. Um einen  
21 Scheibenlaser mit Ausgangsleistungen im Bereich von einigen Kilowatt bereitzu-  
22 stellen, ist es deshalb notwendig, eine Mehrzahl von Kristallscheiben einzusetzen.  
23 Hierzu ist es aus der US 5,553,088 A, insbesondere Fig. 17, bekannt, eine Mehr-  
24 zahl von Kristallscheiben optisch miteinander in einem sogenannten gefalteten  
25 Strahlengang zu koppeln, wobei jede Kristallscheibe transversal von einer Vielzahl  
26 von Pumplichtquellen umgeben ist, um eine hohe Absorption des Pumplichtstrahls  
27 sicherzustellen. Ein solcher Aufbau ist jedoch technisch sehr aufwendig, da jeder  
28 Kristallscheibe eine Pumpanordnung zugeordnet ist. Außerdem wird ein erhebli-  
29 cher Teil des Pumplichtstrahls in Randzonen der Kristallscheibe absorbiert, die  
30 nicht oder nur zu einem geringen Anteil zur Laserstrahlerzeugung beitragen.

1 Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, einen Festkörperlaser anzugeben,  
2 dessen aktives Medium zum Erzeugen einer hohen Ausgangsleistung aus einer  
3 Mehrzahl von in einem Resonator angeordneten und miteinander optisch gekop-  
4 pelter Kristallscheiben aufgebaut ist und einen technisch unaufwendigen Aufbau  
5 ermöglicht.

6  
7 Die genannte Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst mit einem Festkörperlaser  
8 mit den Merkmalen des Patentanspruches 1. Der Festkörperlaser gemäß der  
9 Erfindung enthält ein aktives Medium zum Erzeugen eines Laserstrahls, das aus  
10 einer Mehrzahl von in einem Resonator angeordneter und miteinander optisch  
11 gekoppelter und einen gemeinsamen Strahlengang für den Laserstrahl bildender  
12 Kristallscheiben besteht, wobei eine Pumplichtquelle zum Erzeugen eines  
13 Pumplichtstrahls vorgesehen ist, dessen optische Achse die Flachseiten mehrerer  
14 optisch hintereinander angeordneter Kristallscheiben schneidet.

15  
16 Auf diese Weise ist es möglich, mit einer einzigen Pumplichtquelle eine Mehrzahl  
17 von Kristallscheiben optisch zu pumpen. Die Pumplichtquelle kann außerdem als  
18 baulich vom Resonator getrennte Einheit außerhalb des Resonators angeordnet  
19 werden. Dadurch werden der Aufbau des Resonators vereinfacht und die War-  
20 tungsfreundlichkeit des Festkörperlasers erhöht. Der Begriff Pumplichtquelle ist  
21 dabei so zu verstehen, dass diese auch aus einer Vielzahl einzelner Lichtquellen,  
22 beispielsweise Laserdioden, aufgebaut sein kann, deren einzelne Pumplichtstrah-  
23 len zu einem Pumplichtstrahl zusammengesetzt werden.

24  
25 Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass der bei einer longitudina-  
26 len Pumpenanordnung die Kristallscheibe zweimal durchquerende Pumplichtstrahl  
27 nur zu einem relativ geringen Anteil, in der Praxis weniger als 30%, absorbiert wird  
28 und somit effizient zum optischen Pumpen einer weiteren, im Strahlengang des  
29 reflektierten Pumplichtstrahls angeordneten Kristallscheibe verwendet werden  
30 kann. Anders als bei den im Stand der Technik bekannten longitudinal gepumpten  
31 Anordnungen wird somit das Pumplicht nicht erneut in dieselbe Kristallscheibe

1 eingekoppelt, sondern zum Pumpen einer optisch dahinter angeordneten Kristall-  
2 scheibe verwendet.

3  
4 Vorzugsweise ist jeweils einer der Flachseiten der Kristallscheiben eine Spiegel-  
5 fläche zugeordnet, die den Pumplichtstrahl und den Laserstrahl in die Kristall-  
6 scheibe zurückreflektiert. Dadurch wird einerseits die optische Weglänge des  
7 Pumplichtstrahls erhöht. Andererseits ist es auch möglich, die Kristallscheiben auf  
8 einem optisch undurchlässigen gut wärmeleitenden metallischen Kühlelement  
9 aufzubauen.

10  
11 In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung sind die Kristallscheiben derart  
12 angeordnet, dass sich für den Laserstrahl ein gefalteter Strahlengang ergibt. Dies  
13 ermöglicht einen kompakten Aufbau des Resonators.

14  
15 In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung absorbieren die in  
16 Ausbreitungsrichtung des Pumplichtstrahls optisch hintereinander angeordneten  
17 Kristallscheiben im Wesentlichen dieselbe Pumplichtleistung. Durch diese Maß-  
18 nahme ist sichergestellt, dass jede der Kristallscheiben zum gesamten Festkörper-  
19 laser mit der gleichen Laserleistung beiträgt und in gleicher Weise thermisch be-  
20 lastet ist, so dass die konstruktive Auslegung der Kühlelemente, auf denen sich  
21 die Kristallscheiben jeweils befinden, gleich ist. Dadurch ist der konstruktive Auf-  
22 wand verringert.

23  
24 Die Egalisierung der absorbierten Pumplichtleistung geschieht vorzugsweise  
25 durch Variation der Dicke der Kristallscheiben, wobei bei Verwendung nur eines  
26 einzigen Pumplichtstrahls die Dicke der Kristallscheiben in Ausbreitungsrichtung  
27 des Pumplichtstrahls zunimmt. In einer alternativen Ausgestaltung der Erfindung  
28 ist zur Egalisierung der absorbierten Pumpleistung vorgesehen, Kristallscheiben  
29 zu verwenden, deren chemische Zusammensetzung, insbesondere deren Dotie-  
30 rung voneinander verschieden ist, wobei bei Verwendung nur eines einzigen  
31 Pumplichtstrahls die Dotierung in Ausbreitungsrichtung des Pumplichtstrahls von  
32 Kristallscheibe zu Kristallscheibe zunimmt.

1  
2 In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist innerhalb des Re-  
3 sonators zumindest ein Abbildungselement zur Fokussierung des aus einer Kri-  
4 stallscheibe austretenden Pumplichtstrahls auf die optisch nachgeschaltete Kri-  
5 stallscheibe angeordnet. Dadurch wird erreicht, dass der aus der Kristallscheibe  
6 austretende und eine schlechte Strahlqualität, d.h. eine große Divergenz aufwei-  
7 sende Pumplichtstrahl auch bei der nächsten Kristallscheibe vollständig zur Anre-  
8 gung ausgenutzt wird. Der divergent aus der vorgeschalteten Kristallscheibe aus-  
9 tretende Pumplichtstrahl wird gebündelt, so dass er mit einem vorgegebenen  
10 Strahldurchmesser auf die optisch nachgeordnete Kristallscheibe auftrifft. Dabei  
11 wird vorzugsweise der aus der vorgeordnete Kristallscheibe austretende  
12 Pumplichtstrahl auf die optisch nachfolgende Kristallscheibe abgebildet, d.h. die  
13 nachfolgende Kristallscheibe befindet sich annähernd in der Bildebene und die  
14 vorgeschaltete Kristallscheibe annähernd in der Objektebene des Abbildungsele-  
15 mentes.

16  
17 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform beeinflusst das Abbildungsele-  
18 ment im Wesentlichen nur den Strahlengang des Pumplichtstrahls, da eine reso-  
19 natorinterne Strahlformung des Laserstrahls aufgrund dessen hoher Strahlqualität  
20 nicht erforderlich ist.

21  
22 In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die optische Ach-  
23 se des Pumplichtstrahls und die optische Achse des Laserstrahls annähernd kolloi-  
24 near zueinander. Dies ermöglicht einen besonders kompakten Aufbau mit wenig  
25 optischen Komponenten, da in diesem Falle die Kristallscheiben zugleich die Aus-  
26 breitungsrichtung des Pumplichtstrahls festlegen.

27  
28 Vorzugsweise ist als Abbildungselement eine Linse mit einer zentralen Öffnung  
29 vorgesehen. Dadurch wird durch das Abbildungselement nur der Strahlengang  
30 des Pumplichtstrahls beeinflusst und der Laserstrahl, dessen Divergenz gering ist,  
31 breitet sich ungestört im Resonator aus.

1 Alternativ hierzu kann als Abbildungselement auch eine Linse vorgesehen sein,  
2 deren Oberfläche nur in einem ringförmigen Randbereich gekrümmt ist und deren  
3 zentraler Bereich sich optisch wie eine Platte mit planparallelen Oberflächen ver-  
4 hält.

5  
6 In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird in den Resonator  
7 ein Pumplichtstrahl mit ringförmigem Querschnitt eingekoppelt.

8  
9 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist als Abbildungselement ein  
10 Spiegelement mit einer wellenlängenselektiv den Laserstrahl reflektierenden und  
11 den Pumplichtstrahl transmittierenden Planfläche und einer optisch dahinter an-  
12 geordneten reflektierenden Konkavfläche vorgesehen. Alternativ hierzu ist die  
13 Planfläche in einem zentralen Bereich verspiegelt und in einem diesen ringförmig  
14 umgebenden Bereich durchlässig für den Pumplichtstrahl.

15  
16 In einer alternativen Ausführungsform beeinflusst das Abbildungselement sowohl  
17 den Strahlengang des Laserstrahls als auch den Strahlengang des Pumplicht-  
18 strahls, wobei insbesondere zumindest einer der Resonatorspiegel eine derart  
19 gekrümmte Reflexionsfläche aufweist, dass diese gemeinsam mit den resonatorin-  
20 ternen Abbildungselementen einen stabilen Resonator bilden.

21  
22 Vorzugsweise ist zur Einkopplung des Pumplichtstrahls in den Resonator ein wel-  
23 lenlängenselektiver Resonatorspiegel vorgesehen, der für den Laserstrahl reflek-  
24 tierend und für den Pumplichtstrahl transmittierend ist. Dies ermöglicht eine be-  
25 sonders einfache Einkopplung des Pumplichtsstrahles in den Resonator.

26  
27 Alternativ hierzu kann zur Einkopplung des Pumplichtstrahls in den Strahlengang  
28 des Laserstrahls auch ein Strahlteiler vorgesehen sein.

29  
30 In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist zur Auskopplung  
31 des Laserstrahls ein wellenlängenselektiver Resonatorspiegel vorgesehen, der  
32 zumindest einen Teil des Laserstrahls transmittiert (auskoppelt) und den

1 Pumplichtstrahl reflektiert. Dadurch wird eine besonders effiziente Ausnutzung der  
2 Pumpleistung erzielt.

3  
4 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform verläuft die optische Achse des  
5 Pumplichtstrahls zumindest teilweise geneigt zur optischen Achse des Laser-  
6 strahls, wobei das oder die Abbildungselemente zum Abbilden des Pumplicht-  
7 strahls außerhalb des vom Laserstrahl erfassten Volumen des Resona-  
8 tors angeordnet sind. Durch diese Maßnahme können Anordnungen bereitgestellt  
9 werden, bei denen auf einfache Weise sichergestellt werden kann, dass die zur  
10 Abbildung bzw. Fokussierung des Pumplichtstrahles erforderlichen Abbildungse-  
11 lemente den Strahlengang des Laserstrahles nicht beeinflussen.

12  
13 Vorzugsweise werden in den Resonator wenigstens zwei Pumplichtstrah-  
14 len eingekoppelt, die sich im Resonator in einander entgegengesetzte Richtungen  
15 ausbreiten. Auf diese Weise ist es möglich, bei kollinearen optischen Achsen die  
16 Anzahl der in einem gefalteten Strahlengang hintereinander angeordneten Kri-  
17 stallscheiben zu erhöhen.

18  
19 Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Ausführungsbeispiele der  
20 Zeichnung verwiesen. Es zeigen:

21  
22 Fig. 1 einen Festkörperlaser gemäß der Erfindung in einer schematischen  
Prinzipdarstellung,

23  
24 Fig. 2 den prinzipiellen Aufbau eines eine Kristallscheibe enthaltenden Lase-  
25 relementes in einem Schnitt,

26  
27 Fig. 3 einen Festkörperlaser gemäß der Erfindung, bei dem zwei Pumplicht-  
strahlen in den Resonator eingekoppelt werden,

28  
29 Fig. 4a,b Ausführungsformen, bei denen der Pumplichtstrahl im Innern des Re-  
sonators auf die Kristallscheiben mit ringförmigen Linsen fokussiert  
30 wird,

31  
32 Fig. 5 eine alternative Ausführungsform einer zur Fokussierung des  
Pumplichtstrahls geeigneten Linse,

Fig. 6 eine Ausführungsform, bei der als resonatorinterne Abbildungselemente Spiegel vorgesehen sind,  
Fig. 7a,b jeweils einen für die Ausführungsform gem. Fig. 6 geeigneten Spiegel in einer vergrößerten Darstellung,  
Fig. 8 eine alternative Einkopplung des Pumplichtstrahls in den Resonator,  
Fig. 9 eine Ausführungsform mit einem Resonatorspiegel mit gekrümmter Oberfläche,  
Fig. 10 eine Ausführungsform, bei der der Strahlengang des Laserstrahls und der Strahlengang des Pumplichtstrahles nicht kollinear zueinander sind.

Gemäß Fig. 1 umfasst der Festkörperlaser vier auf ihrer Rückseite verspiegelte Kristallscheiben 2a-d, die gemeinsam mit einem als Endspiegel dienenden Resonatorspiegel 4 und einem als Auskoppelspiegel dienenden Resonatorspiegel 6 einen Resonator 8 mit einem gefalteten Strahlengang für einen Laserstrahl L festlegen. Außerhalb des Resonators ist eine Pumplichtquelle 10 angeordnet, die einen Pumplichtstrahl P erzeugt, der über den Resonatorspiegel 4 in den Resonator 8 eingekoppelt wird. Der als End- bzw. Einkoppelspiegel dienende Resonatorspiegel 4 ist hierzu hochreflektierend für den Laserstrahl L und transmittierend für den Pumplichtstrahl P.

Der als Auskoppelspiegel dienende Resonatorspiegel 6 ist im Ausführungsbeispiel hochreflektierend für den Pumplichtstrahl P und teildurchlässig (5 bis 10 %) für den Laserstrahl L.

Die optische Achse des Pumplichtstrahls P verläuft innerhalb des Resonators 8 kollinear zur optischen Achse des Laserstrahls L.

In der Figur ist dabei sowohl der Pumplichtstrahl P als auch der Laserstrahl L durch Wiedergabe der jeweils zugehörigen optischen Achsen dargestellt, wobei zur Erhöhung der Übersichtlichkeit die die optische Achse der Pumplichtstrahls P darstellende Linie gestrichelt und die die optische Achse des Laserstrahls L darstellende Linie durchgezogen ist. Pumplichtstrahl P und Laserstrahl L bestehen in

1 der Realität jeweils aus einem Strahlenbündel, wobei der Laserstrahl L aufgrund  
2 seiner hohen Strahlqualität ein nahezu paralleles Strahlenbündel bildet, während  
3 der Pumplichtstrahl P eine hohe Divergenz aufweist.

4  
5 Gemäß Fig. 2 ist jede Kristallscheibe 2 auf einem Kühlelement 12 angeordnet,  
6 wobei zur Erhöhung der thermischen Leitfähigkeit eine gut wärmeleitende Zwi-  
7 schenschicht aus duktilem Metall verwendet wird, so dass ein guter thermischer  
8 Kontakt zwischen dem Kühlelement 12 und der Kristallscheibe 2 gewährleistet ist.  
9 Auf ihrer dem Kühlelement 12 zugewandten Flachseite 20 ist die Kristallscheibe 2  
10 mit einer reflektierenden Schicht 22 versehen, so daß der auf der gegenüberlie-  
11 genden Flachseite 24 eintretende Pumplichtstrahl P nach Durchqueren der Kri-  
12 stallscheibe 2 in deren Dickenrichtung reflektiert wird, die Kristallscheibe 2 erneut  
13 durchquert und aus der Flachseite 24 austritt. Es handelt sich hiermit um eine  
14 longitudinale Pumpanordnung, d.h. der Pumplichtstrahl P tritt an einer der Flach-  
15 seiten, im Beispiel die Flachseite 24, der Kristallscheibe 2 ein und an einer der  
16 Flachseiten, im Beispiel aufgrund der reflexiven Anordnung ebenfalls die Flachsei-  
17 te 24, erneut aus. Hierzu müssen die optische Achse des Pumplichtstrahls P und  
18 die Normale der Flachseite 24 nicht parallel zueinander verlaufen. Wichtig ist es  
19 nur, daß die optische Achse des Pumplichtstrahls P die Flachseite 24 der Kristall-  
20 scheibe 2 schneidet.

21  
22 Gemäß Fig. 3 sind acht Kristallscheiben 2a-2h optisch hintereinander angeordnet.  
23 In diesem Ausführungsbeispiel sind zwei Pumplichtquellen 10a, 10b vorgesehen,  
24 da die in den ersten vier Kristallscheiben 2a-d erfolgende Absorption des von der  
25 Pumplichtquelle 10a erzeugten Pumplichtstrahls Pa eine Anregung der optisch  
26 dahinterangeordneten Kristallscheiben 2e-2h nicht mehr im ausreichendem Maße  
27 gewährleistet. Die beiden Pumplichtstrahlen Pa, Pb breiten sich ineinander in ent-  
28 gegengesetzter Richtung im Resonator 8 aus und werden an den einander entge-  
29 gegengesetzten Enden des Resonators 8 in die Resonatorspiegel 4 bzw. 6 einge-  
30 koppelt, wobei in diesem Ausführungsbeispiel der als Auskoppelspiegel dienende  
31 Resonatorspiegel 6 für die Wellenlänge des Pumplichtstrahls Pa, Pb transparent  
32 ist. Zur Einkopplung des Pumplichtstrahls Pb in den Strahlengang des Laser-



1 strahls L ist ein außerhalb des Resonators 8 angeordneter Strahlteiler 26 vorge-  
2 sehen.

3  
4 Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4a sind die vorstehend bereits erläuterten  
5 unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen für den Pumplichtstrahl P einerseits  
6 und für den Laserstrahl L andererseits deutlicher hervorgehoben. In einer ersten  
7 resonatorinternen Linse 30 wird der beispielsweise von einem Laserdiodenstack  
8 erzeugte Pumplichtstrahl P auf die erste Kristallscheibe 2a derart fokussiert, dass  
9 sein Querschnitt an der Flachseite 24 eine Kreisscheibe mit einem Durchmes-  
10 ser D von beispielsweise etwa 5mm bildet. In der auf diese Weise festgelegten  
11 Zone wird nun der Laserstrahl L erzeugt. Der auf der Rückseite der Kristallschei-  
12 be 2a reflektierte und aus ihr austretende Pumplichtstrahl P hat eine hohe Diver-  
13 genz und wird durch die Linse 32 auf die optisch nachgeordnete Kristallscheibe 2b  
14 fokussiert, so daß auf der Flachseite 24 dieser Kristallscheibe 2b ein Bild der vom  
15 Pumplichtstrahl P beleuchteten Fläche der Kristallscheibe 2a erzeugt wird. Der  
16 Laserstrahl L hat einen Durchmesser, der in etwa dem Durchmesser der beleuch-  
17 teten Fläche entspricht und ist in der Figur der Übersichtlichkeit halber nur als mit  
18 der optischen Achse beider Strahlen P,L zusammenfallende Linie dargestellt. Die  
19 im Ausführungsbeispiel verwendeten Linsen 30,32 sind im Bereich der optischen  
20 Achse hohl, d.h. als Ringlinsen ausgebildet, so daß sie keine Abbildung oder Fo-  
21 kussierung des Laserstrahls L bewirken und keine Wirkung auf die den Laser-  
22 strahl L beeinflussenden Eigenschaften des Resonators 8 haben.

23  
24 Der Pumplichtstrahl P hat gemäß dem Ausführungsbeispiel vorzugsweise einen  
25 ringförmigen Querschnitt, so dass der gesamte Pumplichtstrahl P von den Linsen  
26 30,32 erfasst und fokussiert wird.

27  
28 Um sicherzustellen, dass die von jeder Kristallscheibe 2a-d absorbierte Pumplei-  
29 stung trotz der von Kristallscheibe zu Kristallscheibe abnehmenden Intensität des  
30 Pumplichtstrahls gleich groß ist, nimmt die Dicke  $d_a$ - $d_d$  der Kristallscheiben 2a-d  
31 mit wachsender Anzahl der jeweils vorgeordneten Kristallscheiben zu, d.h.  
32  $d_a < d_b < d_c < d_d$ , wie dies in der Fig. schematisch veranschaulicht ist. Die Variation

1 der Dicke ist an die konkreten Ausbreitungsverhältnisse für den Pumplichtstrahl im  
2 Resonator 8 anzupassen. In der Anordnung gemäß Fig. 3 nimmt deshalb die Dik-  
3 ke der Kristallscheiben jeweils zur Mitte des Resonators hin zu, so daß in dieser  
4 Anordnung die mittig angeordneten Kristallscheiben eine größere Dicke als die  
5 resonatorendseitig angeordneten Kristallscheiben haben. Alternativ hierzu kann  
6 auch die chemische Zusammensetzung, d.h. die Dotierung entsprechend einge-  
7 stellt werden.

8  
9 Gemäß Fig. 4b ist anstelle eines resonatorextern ein paralleles Bündel bildenden  
10 Pumplichtstrahles ein von der Pumplichtquelle 10 erzeugter divergenter  
11 Pumplichtstrahl P vorgesehen, der über eine resonatorexterne Linse 31 auf den  
12 Resonatorspiegel abgebildet wird, so daß er sich ausgehend von diesem resona-  
13 torintern in gleicher Weise ausbreitet wie der von den Kristallscheiben 2a (-d) je-  
14 weils ausgehende Pumplichtstrahl. Dadurch können die resonatorintern zu seiner  
15 Abbildung verwendeten Linsen 32 identisch sein.

16  
17 Als resonatorinternes Abbildungselement kann anstelle einer Linse mit einer zen-  
18 tralen Öffnung auch gemäß Fig. 5 eine Linse 34 vorgesehen sein, die nur in einem  
19 ringförmigen Bereich 42 gekrümmte Oberfläche 44 aufweist, in ihrem zentralen  
20 Bereich 46 jedoch mit planen Oberflächen 48 versehen ist.

21  
22 Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6 umfaßt der Festkörperlaser vier Kristall-  
23 scheiben 2a-2d, die in einer Reihe angeordnet sind, und denen gegenüberliegend  
24 jeweils ein Spiegelement 50a-50d zugeordnet ist. Sowohl der auf einer der Kri-  
25 stallscheiben 2a-2d austretende Laserstrahl L als auch der Pumplichtstrahl P wer-  
26 den vor ihrem erneuten Eintritt in die optisch dahinter angeordnete Kristallschei-  
27 be 2a-2d an dem Spiegelement 50a-d reflektiert.

28  
29 Gemäß Fig. 7a ist das Spiegelement 50 an seiner den Kristallscheiben zuge-  
30 wandten Oberfläche 52 als Planspiegel an seiner in Ausbreitungsrichtung des La-  
31 serstrahls L oder des Pumplichtstrahls P dahinterliegenden Oberfläche 54 aus-  
32 gebildet, wobei die Oberfläche 52 für den Laserstrahl L hochreflektierend und für

1 den Pumplichtstrahl P transmittierend und die rückseitige Oberfläche 54 für den  
2 Pumplichtstrahl P hochreflektierend ist. Auf diese Weise kann der Pumplicht-  
3 strahl P refokussiert werden, ohne dass hiermit eine Strahlformung des Laser-  
4 strahls L einhergeht.

5  
6 Alternativ hierzu kann gemäß Fig. 7b in Analogie zu den Ausführungsbeispielen,  
7 bei denen Linsen zur Abbildung eingesetzt werden, eine räumlich variierende Ver-  
8 spiegelung der Oberfläche 52 vorgesehen sein, die nicht wellenlängenselektiv  
9 sein muss, beispielsweise eine lediglich an den Durchmesser des Laserstrahls L  
10 angepaßte scheibenförmige zentrale Verspiegelung 56 der Oberfläche 52 und  
11 eine vollständige Verspiegelung der Oberfläche 54. Mit anderen Worten: Die  
12 Oberfläche 52 ist in einem ringförmigen Bereich außerhalb der Verspiegelung 56  
13 hochtransmittierend für den Pumplichtstrahl P und an der rückseitigen Oberflä-  
14 che 54 zumindest für den Pumplichtstrahl P hochreflektierend.

15  
16 Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 8 wird der Pumplichtstrahl nicht durch einen  
17 der Resonatorspiegel 4,6 sondern quer zum Laserstrahl L mittels eines Strahltei-  
18 lers 60 eingekoppelt. Eine solche Einkopplung ist insbesondere dann von Vorteil,  
19 wenn eine Vielzahl, beispielsweise mehr als 8 Kristallscheiben optisch gekoppelt  
20 werden, so dass auch eine beidseitige Einkopplung eines Pumplichtstrahls P nicht  
21 mehr zur Anregung der in der Mitte des Resonators 8 angeordneten Kristallschei-  
22 ben ausreicht. In diesem Falle kann durch einen solchen innerhalb des Resona-  
23 tors 8 angeordneten Strahlteiler 60 an beliebiger Stelle Pumplicht in den Strahlen-  
24 gang des Laserstrahls L eingekoppelt werden.

25  
26 Eine Einkopplung mit einem Strahlteiler 60 ist im Ausführungsbeispiel gemäß  
27 Fig. 9 vorgesehen, bei dem zumindest einer der Resonatorspiegel 4,6 mit einer  
28 gekrümmten reflektierenden Oberfläche 61 versehen ist, so daß ein stabiler Re-  
29 sonator entsteht. In diesem Ausführungsbeispiel ist es auch möglich, dass durch  
30 die zur Fokussierung des Pumplichtstrahls P verwendeten resonatorinternen Ab-  
31 bildungselemente, im Beispiel Linsen 62,63 die im Unterschied zu der Ausfüh-  
32 rungsform gemäß Fig. 5 im zentralen Bereich eine gekrümmte Oberfläche aufwei-

1 sen, auch eine Strahlformung des Laserstrahls L durchgeführt wird. Durch die  
2 Verwendung eines entsprechend strahlformenden Resonatorspiegels ergibt sich  
3 ein Resonator mit den jeweils gewünschten strahlformenden Eigenschaften.

4  
5 Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 10 verlaufen die optischen Achsen des La-  
6 serstrahls L geneigt zu den optischen Achsen des Pumplichtstrahls P, d.h. die  
7 beiden optischen Achsen sind nicht kollinear. Dies ist in der Fig. durch die Win-  
8 kel  $\alpha_1, \alpha_2$  zwischen den die Oberfläche 24 schneidenden optischen Achsen des  
9 Laserstrahls L und Pumplichtstrahls P veranschaulicht. Hierzu ist jeder Kristall-  
10 scheibe 2a-2c eine Umlenkspiegeleinheit 64a-c zugeordnet, der den mit geringem  
11 Winkel  $\beta$  zur Normalen aus der Oberfläche der Kristallscheibe 2a-2c austretenden  
12 Laserstrahl L umlenkt und über den der optisch nachgeordneten Kristallschei-  
13 be 2a-2c zugeordneten Umlenkspiegel 64a-c auf diese Kristallscheibe 2a-c proj-  
14 ziert. Der Pumplichtstrahl P trifft unter einem größeren Einfallswinkel  $\alpha_1 + \beta$  auf die  
15 Kristallscheiben 2a-c auf, so daß sich Pumplichtstrahl P und Laserstrahl L nur in  
16 einem kleinen Bereich in der Nähe der Kristallscheibe 2a-c überlappen. Aufgrund  
17 der zueinander geneigten optischen Achsen erfolgt eine Trennung von  
18 Pumplichtstrahl P und Laserstrahl L, so daß die zur Weiterleitung des Pumplicht-  
19 strahls P auf die nächste Kristallscheibe 2a-c erforderlichen optischen Abbildung-  
20 selemente außerhalb des Strahlengangs des Laserstrahls L angeordnet werden  
21 können. Im Ausführungsbeispiel ist hierzu jeweils ein Konkavspiegel 66 vorgese-  
22 hen. Außerdem ist zur Einkopplung des Pumplichtstrahls P in den Resonator 8  
23 weder ein Strahlteiler noch ein entsprechend durchlässiger Resonatorspiegel er-  
24 forderlich.

## Zusammenfassung

Ein Festkörperlaser enthält ein aktives Medium zum Erzeugen eines Laserstrahls (L), das aus einer Mehrzahl von in einem Resonator (8) angeordneten und miteinander optisch gekoppelter und einen gemeinsamen Strahlengang für den Laserstrahl (L) bildender Kristallscheiben (2,2a-h) besteht. Eine Pumplichtquelle (10,10,10b) erzeugt einen Pumplichtstrahl (P;Pa,Pb), dessen optische Achse die Flachseiten (20,24) mehrerer optisch hintereinander angeordneter Kristallscheiben (2a-2h) schneidet.

(Fig. 1)

## Bezugszeichenliste

2;2a-2h	Kristallscheibe
4,6	Resonatorspiegel
8	Resonator
10,10a,10b	Pumplichtquelle
12	Kühlelement
20,24	Flachseite
22	Schicht
26	Strahlteiler
30,31,32	Linse
34	Öffnung
42	ringförmiger Bereich
44	Oberfläche (gekrümmt)
46	zentraler Bereich
48	Oberfläche (plan)
50;50a-50d	Spiegelement
52	Oberfläche (plan)
54	Oberfläche (konkav)
56	Verspiegelung
60	Strahlteiler
61	gekrümmte Oberfläche
62,63	Linse
64a-c	Umlenkspiegeleinheit
66	Konkavspiegel
L	Laserstrahl
P;Pa,Pb	Pumplichtstrahl
D	Durchmesser
$\alpha 1, \alpha 2, \beta$	

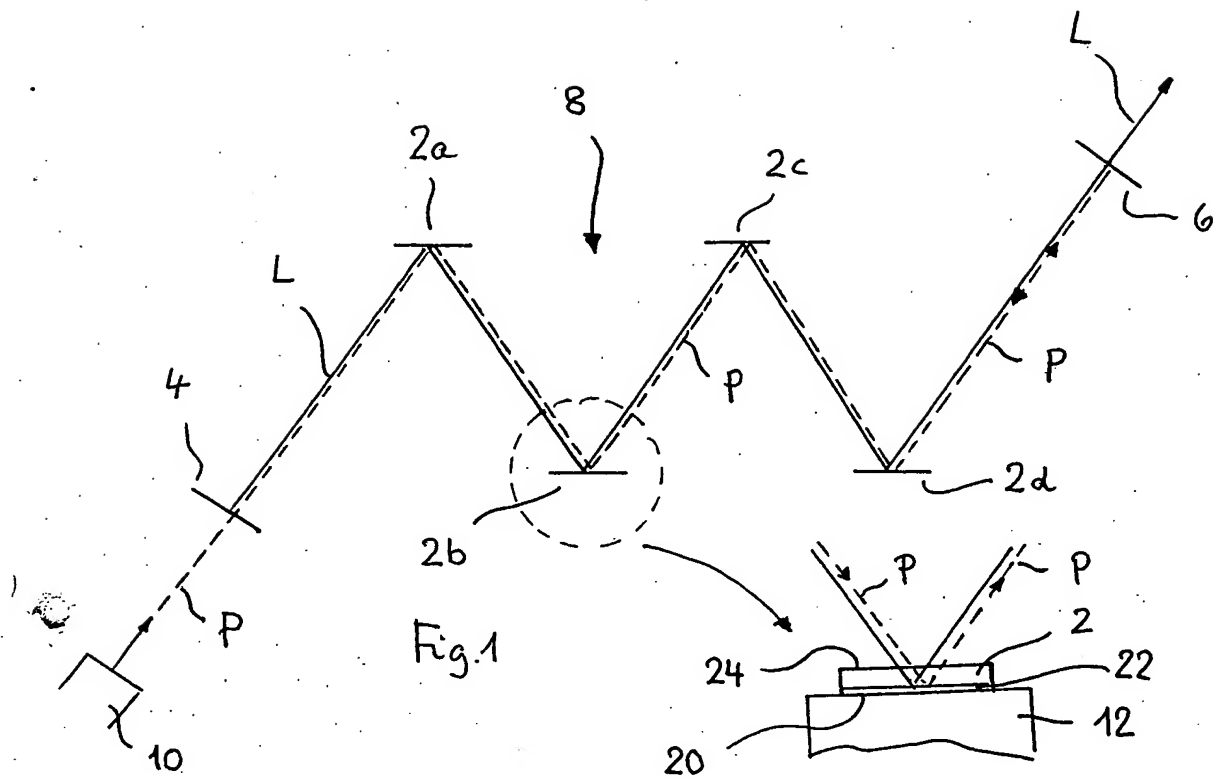


Fig. 2

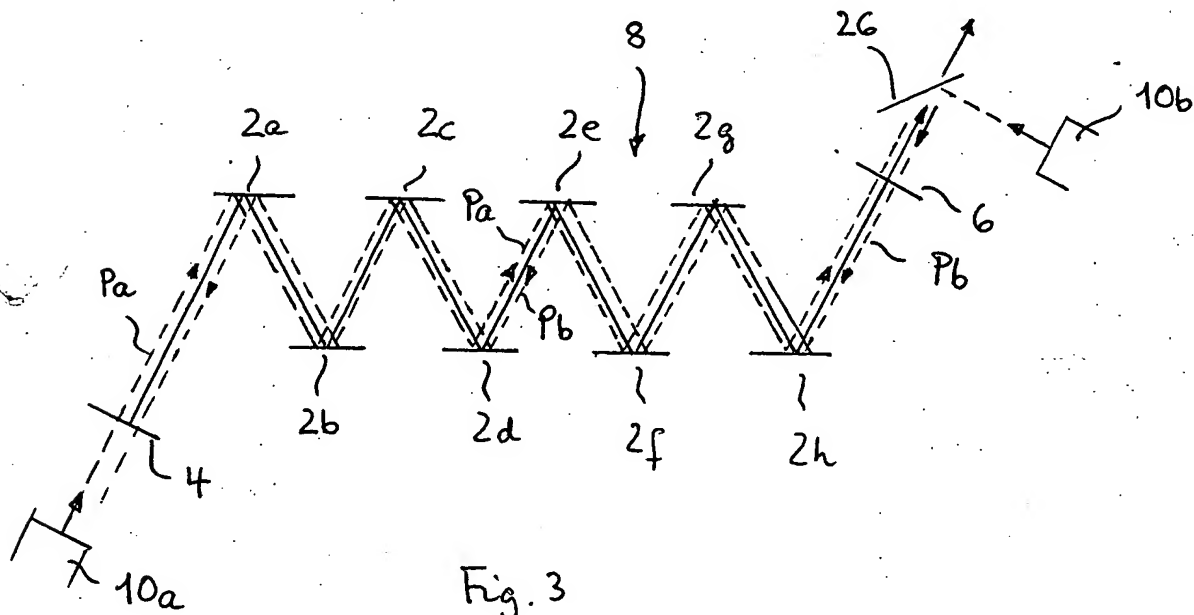
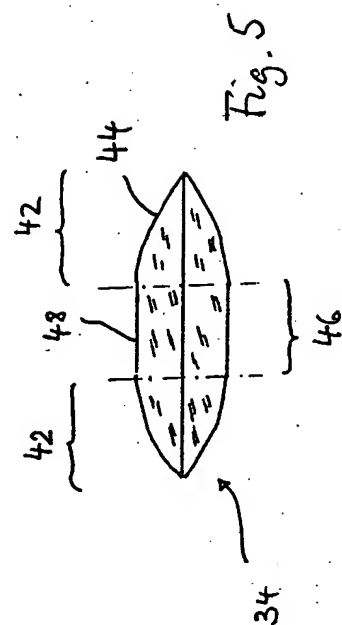
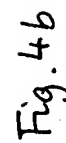
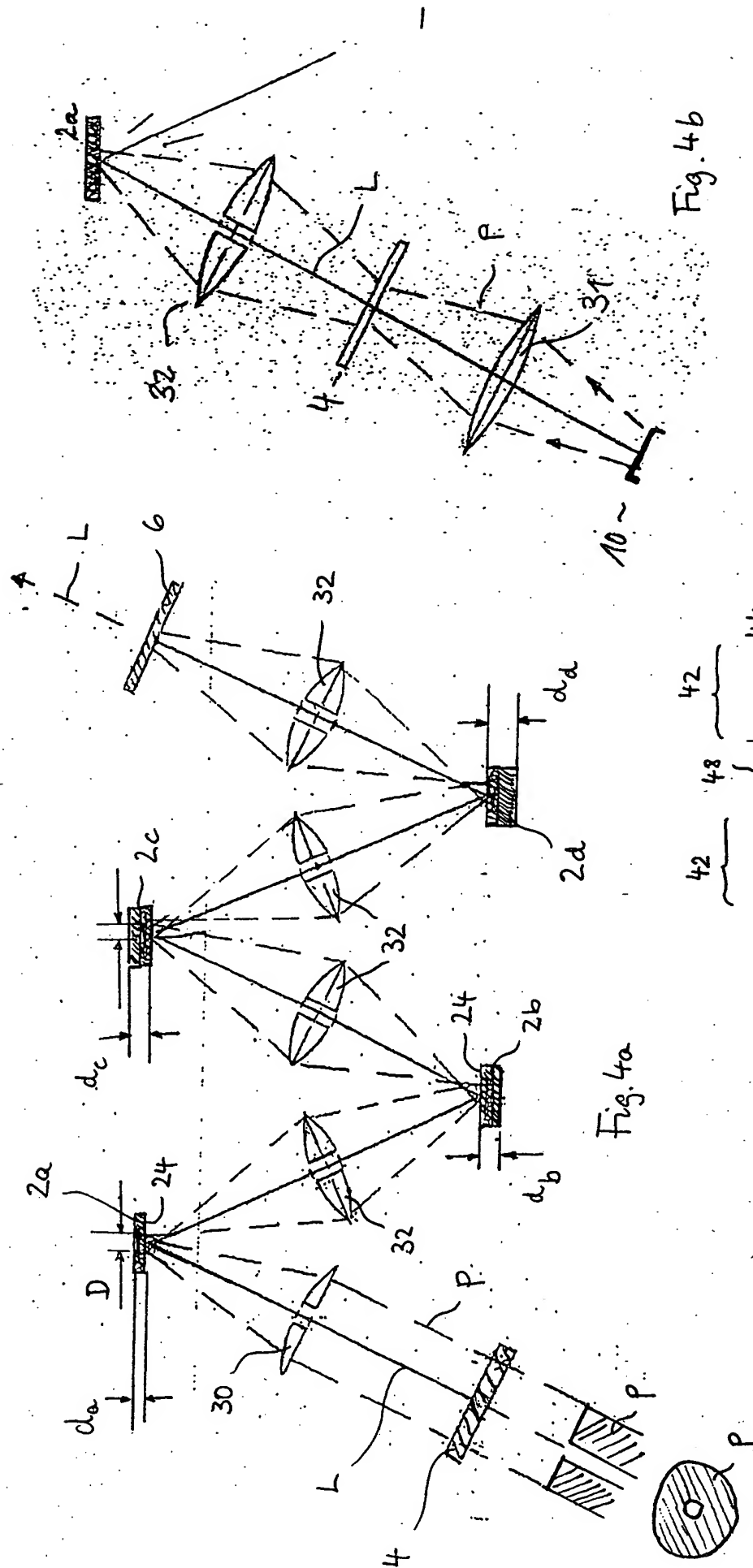
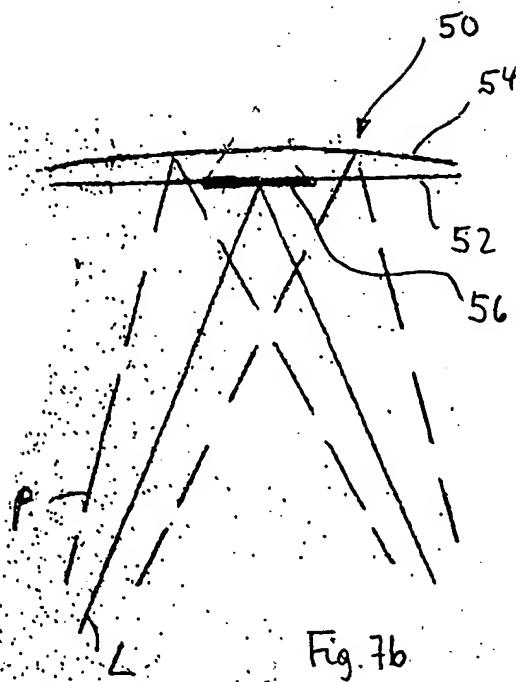
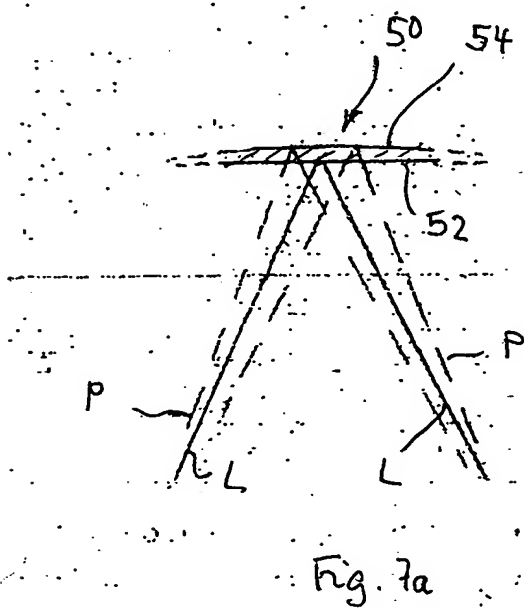
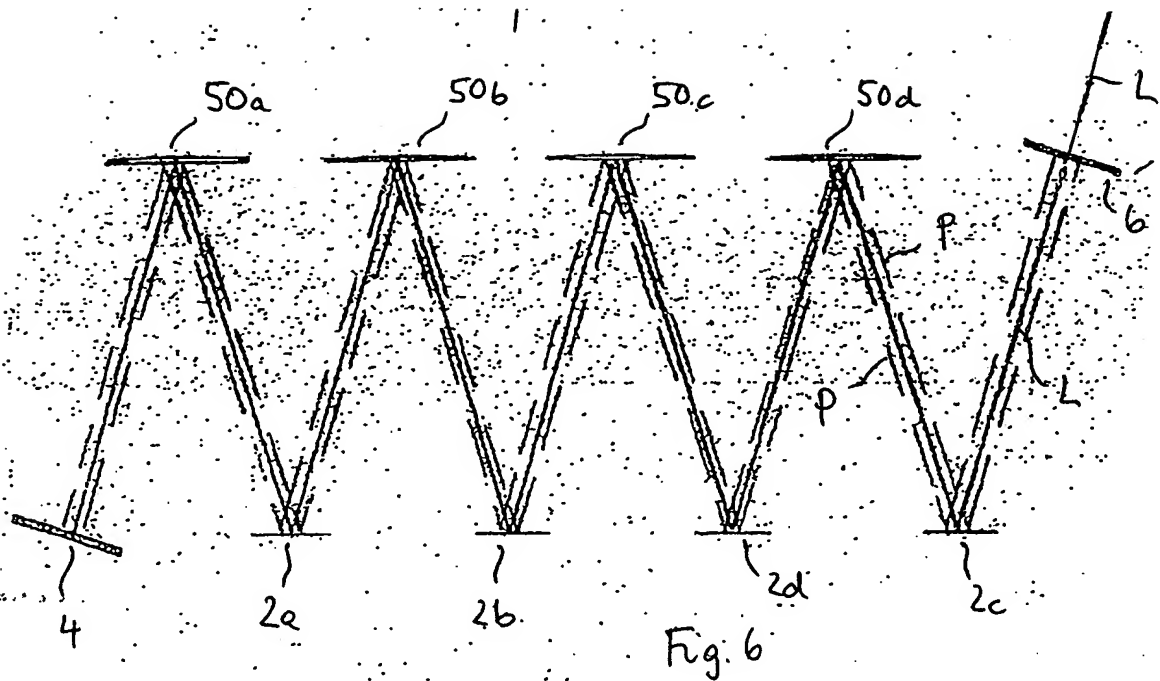
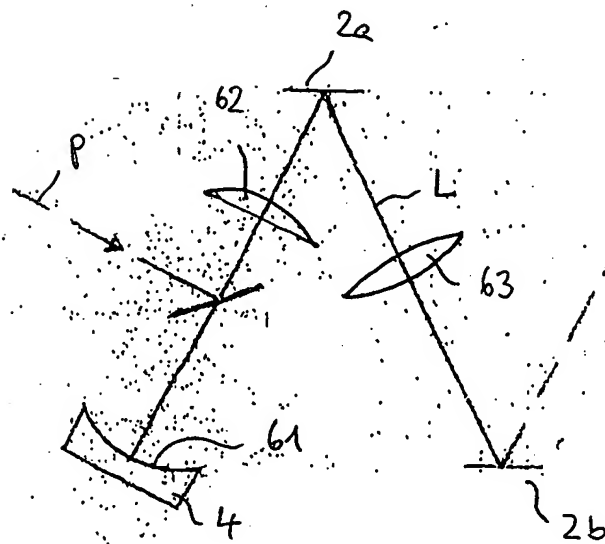
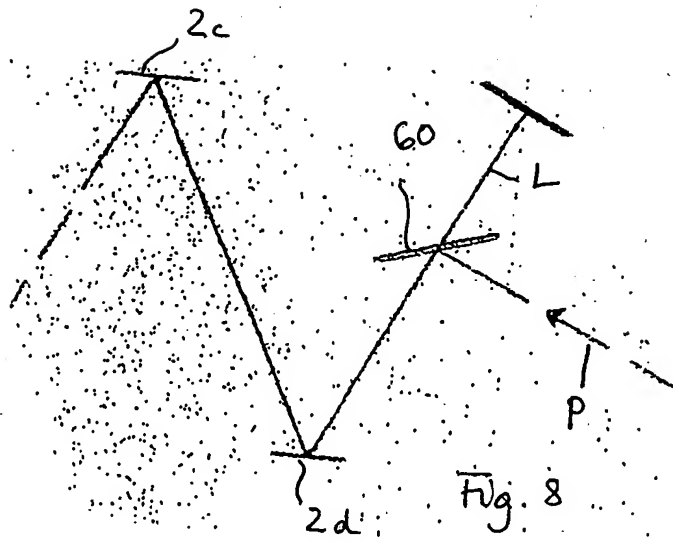


Fig. 3









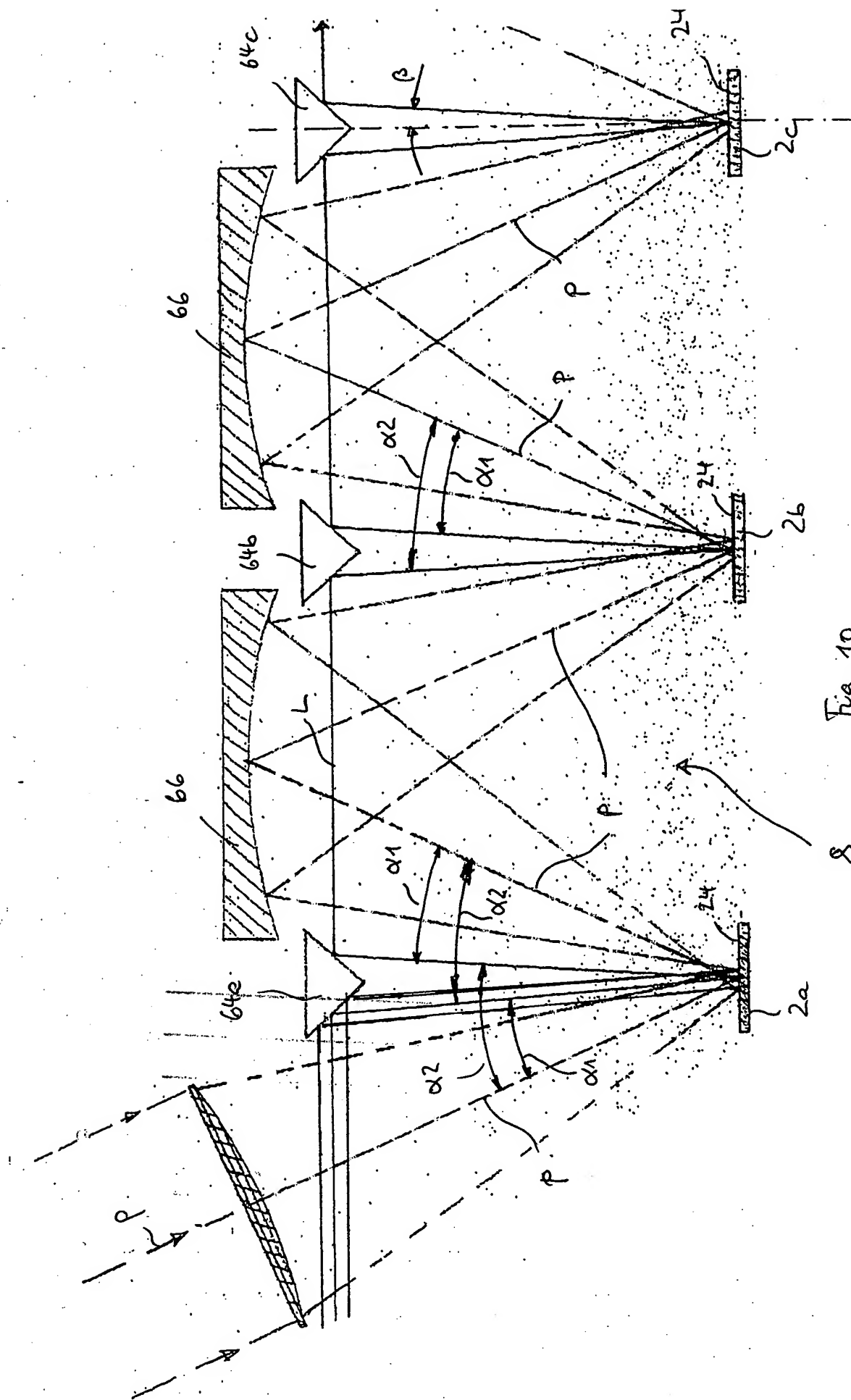


Fig. 10